

## 繰り返し順変換による歩行動作の創成

著者	片野 泰知, 神谷 好承, 関 啓明, 疋津 正利
著者別表示	Katano Taichi, Kamiya Yoshitsugu, Seki Hiroaki, Hikizu Masatoshi
雑誌名	精密工学会学術講演会講演論文集
巻	2013 Spring
号	T18
ページ	1103-1104
URL	<a href="http://doi.org/10.24517/00052933">http://doi.org/10.24517/00052933</a>

doi: 10.11522/pscjspe.2013S.0.1103.0



## 繰り返し順変換による歩行動作の創成

金沢大学大学院 ○片野泰知, 神谷好承, 関啓明, 足津正利

### Creation of the Walk Operation Using the Solutions of Repeated Direct Kinematics

Kanazawa University Graduated School ○Taichi KATANO, Yoshitsugu KAMIYA, Hiroaki SEKI, Masatoshi HIKIZU

Bipedal robot was made for the purpose of human aid. However, the traditional ability of walking can not be fully compatible with the step such as stairs. So, the model moves the center of gravity using the solutions of repeated direct kinematics. This way is to choose the inclination of the body closest to the target position when we calculate the position of the center of gravity that the model tilts the upper body only small angle( $\pm \Theta, 0, \pm \Phi$ ), origin at the waist. The purpose is creating of the walk operation by addressing to correct posture sequentially in the vertical movement of the stairs.

#### 1. 諸言

近年、二足歩行ロボットの研究において、動歩行を含め平坦な路面での歩行動作を取り扱うことが多く、階段の昇降動作に対応する歩行能力を生成する研究はあまりされていない。そこで、本研究では静歩行を前提とし、階段の昇降について歩行動作の生成を試みる。その際に重要な点は、体全体の重心位置の移動を歩行の中心として考えることであり、それを中心とした二足歩行ロボットの歩行動作の開発を行う。

#### 2. 歩行動作

二足歩行は主に静歩行と動歩行に分けられる。静歩行とは、体の重心の足裏への投影点(GCoM:Ground projection of Center of Mass)が常に足裏にあるような歩き方である。これは、重心移動と足の運びを別に考えている歩行動作である。静的に安定しているので歩行中どの姿勢で停止しても転倒することはない。動歩行では、GCoM が足裏から外れてしまうような歩行方法であり、歩行動作中は安定している。本研究では、静的な安定性に優れている静歩行を選択して、階段の昇降を安定して行う歩行動作を開発することを目的とする。

静歩行では、一つ一つの動作を分けて考えることができるので、階段の昇り動作を次のようにパターン化して、各動作にあった運動を考える。

- ① 支持多角形(両足裏の作る GCoM のあるべき範囲)の中心にある重心を支持脚側の足裏へ移動。
- ② 遊脚の踏み出し。
- ③ 傾いていた体の角度をもとに戻しながら重心を踏み出した足裏に移す。(踏み出した脚の関節角度は  $0^\circ$  に近くなる)
- ④ 支持脚側にあった重心を前に踏み出した脚の足裏に移動

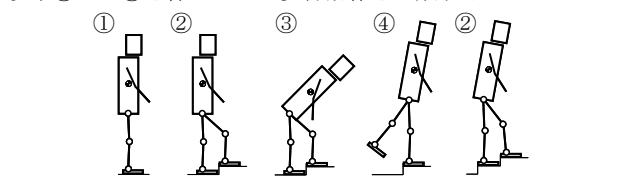


Fig1. Repetitive pattern of going up stairs

#### 3. 繰り返し順変換を利用した重心移動

二足歩行動作において、最も重要な動作は体の重心移動である。腰に原点を置く XYZ 座標を考え、腰を中心に体を傾けることにより重心移動を行う。体の重心が Z 軸方向正の向き 1 の位置にあり X 軸中心反時計回りに  $\theta$  回転させたあと、Y 軸中心反時計回りに  $\phi$  回転させた後の重心位置を  $(x, y, z)$  とする。

計算式と計算結果は次のように示される。

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ 0 & \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \phi & 0 & \sin \phi & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin \phi & 0 & \cos \phi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{cases} x = l \sin \phi \\ y = -l \sin \theta \cos \phi \\ z = l \cos \theta \cos \phi \end{cases} \quad \cdots(1)$$

本研究では、体の傾き角から重心位置を求める順運動学の繰り返しにより逆変換を行いながら、腰を原点においた座標系において要求された重心移動の制御を可能にする手法を提案する。微小角度において毎回姿勢を考慮するので、階段や凹凸のある路面などで姿勢を逐次修正し、それらに対応することができる。

傾き角  $(\theta, \phi)$  における重心位置は(1)のように示されるので、ある傾き角  $(\Theta, \Phi)$  を中心に  $\Delta\Theta, \Delta\Phi$  といった微小移動を行わせることを考える。

$$\begin{cases} \theta = \Theta + \Delta\Theta \\ \phi = \Phi + \Delta\Phi \end{cases} \quad \cdots(2)$$

この時作業平面内での微動  $\Delta x, \Delta y, \Delta z$  は近似的に次のように与えられる。

$$\begin{cases} \Delta x = l \sin(\Phi + \Delta\Phi) \\ \Delta y = -l \sin(\Theta + \Delta\Theta) \cos(\Phi + \Delta\Phi) \\ \Delta z = l \cos(\Theta + \Delta\Theta) \cos(\Phi + \Delta\Phi) \end{cases} \quad \cdots(3)$$

この中で  $\Delta\Theta, \Delta\Phi$  はそれぞれ、

$$\begin{cases} \Delta\Theta = \{-\Delta\Theta, 0, \Delta\Theta\} \\ \Delta\Phi = \{-\Delta\Phi, 0, \Delta\Phi\} \end{cases} \quad \cdots(4)$$

といった 3 通りの微動を与えるものとする。この結果、体の傾きは合計 9 通りの微小角度をとり、そのときの重心位置も 9 通り存在する。この 9 通りの重心位置から目的位置に最も近い傾き角を選択する。逐次こうした微動と評価を繰り返して重心の位置を制御するものであり、この時利用した微動  $\Delta\Theta, \Delta\Phi$  の大きさが最終的な位置決め精度を決定するものになることがわかる。従って、位置決め精度向上のためには、繰り返し回数は増えるが、微動  $\Delta\Theta, \Delta\Phi$  をできるだけ小さくする必要があることがいえる。

#### 4. シミュレーション結果

4.1. 制御モデル Fig3.に示すようにまずは、体のみに質量がある無質量脚モデルを適用し、歩行動作のシミュレーションを行う。

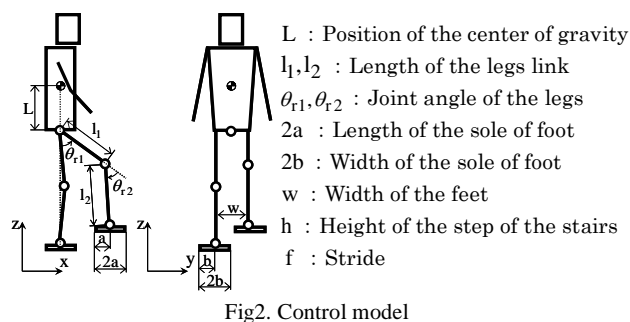


Fig2. Control model

**4.2. 昇り動作** 昇り動作について Fig1. で示された①～④, その後脚を切り替えて踏み出した②の動作までの様子を示す. その流れを Fig3.に示す. 図中の※は右に示すように繰り返し順変換による重心移動を行うものとする.

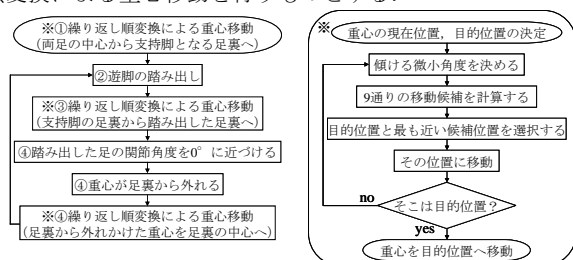


Fig3. The flowchart shows the way of walking and the movement of center of gravity using the solutions of repeated direct kinematics

$L=l_1=l_2=10$ ,  $a=b=1$ ,  $w=2b$ ,  $h=2$ ,  $f=5$  として, 重心の動き, 体の傾き, 各関節角度と繰り返し回数の関係を示す. 傾ける微小角度は  $0.1[^\circ]$  とする. 繰り返し回数 0~109 回は動作①, 110~161 回は動作②, 162~535 回は動作③, 535~1223 回は動作④を示す.

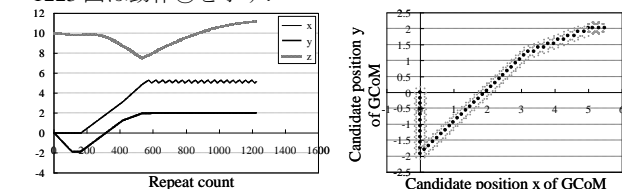


Fig4. Displacement of the position of the center of gravity

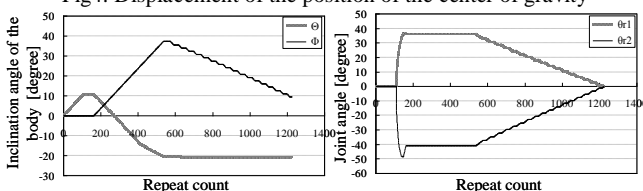


Fig5. Inclination of the body

Fig6. Joint angle of the leg

**4.3. 考察** 4.2.では階段の段差  $h=2$ , 歩幅  $f=5$  として, シミュレーションを行った. 動作④時に見られる重心  $x$ , 傾き角  $\Phi$ , 関節角の挙動は, 支持多角形から GCoM が外れたときに繰り返し順変換を用いて重心移動し, 支持多角形内に戻すことを繰り返して転倒を防いでいるために見られる. 段差の高さや歩幅を変更すると各値にどのような変化が現れるのか検証する.  $(h, f)=(5, 8)$  の場合について考える.

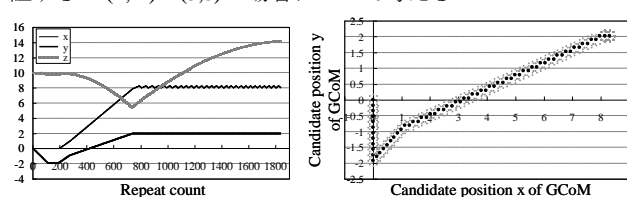


Fig7. Displacement of the position of the center of gravity

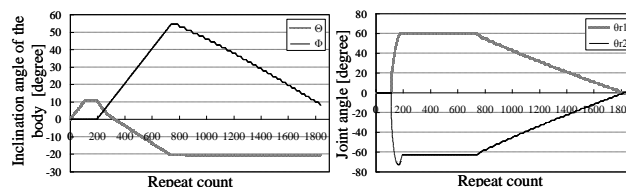


Fig8. Inclination of the body

Fig9. Joint angle of the leg

**4.4. 降り動作** 降り動作について考える. 昇り動作との大きな違いは, 支持脚側に重心移動したあとの遊脚の踏み出しの際に, 足の目的位置が初期位置よりも低いのでそのままの腰の位置からは遊脚が到達できないことである. そこで, 脚を振り上げた状態で支持脚を曲げ, 遊脚を目的位置へ到達させることを考える. その様子を Fig10.の②～③に示す. その他の動作は昇り動作とほぼ同じである. 4.2.に示した昇り動作と同じ条件で降り動作の重心移動, 体の傾き角度, 脚の関節角度を Fig11.~13.に示す.

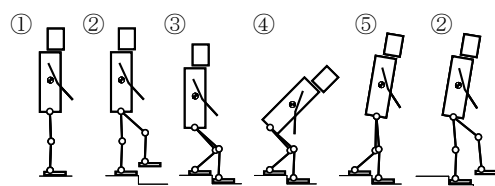


Fig10. Repetitive pattern of going down stairs

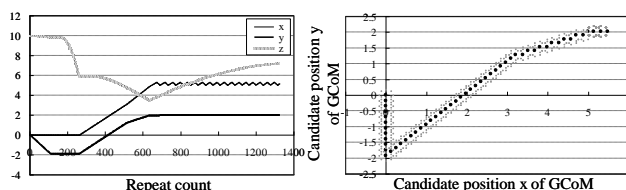


Fig11. Displacement of the position of the center of gravity

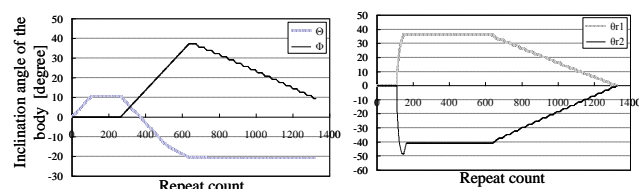


Fig12. Inclination of the body

Fig13. Joint angle of the leg

昇り動作と比較して, 動作②～③における重心の下降が目立つが, その他の動作は昇り動作と比較してあまり変化がないことがわかる. つまり, 階段の昇りと降り動作において大きく異なるのは重心移動であるので, 重心位置の制御を確実に行うことが可能ならば, 簡単に歩行動作を生成することができるがいえる.

## 5. 結論

歩行動作をパターン化して, 繰り返し順変換による重心移動と脚の運びを繰り返して行う階段の昇降動作をシミュレーションで実証した. 今後は動歩行への応用や, 脚に質量を持たせた場合の歩行動作, 外乱に対する歩行ロボットの研究を進めたい.

## 参考文献

- (1) 吉川恒夫, ロボット制御基礎論, コロナ社
- (2) 梶田秀司, ヒューマノイドロボット, オーム社